

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-018496

(43)Date of publication of application : 22.01.1999

(51)Int.Cl.

H02P 21/00

B60L 3/00

B60L 9/18

B60L 15/22

(21)Application number : 09-161343

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 18.06.1997

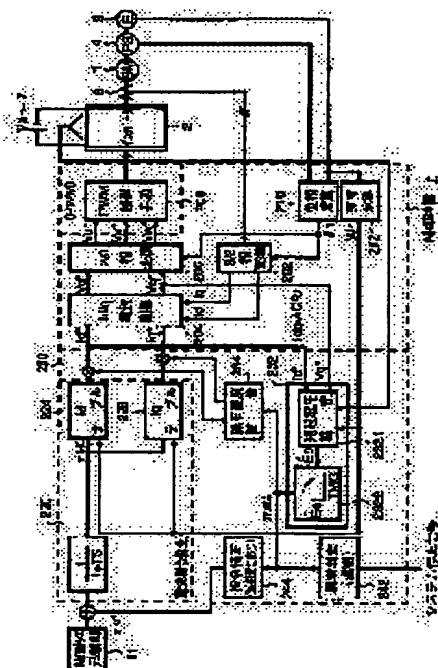
(72)Inventor : OBARA SANSHIRO  
SASAZAWA NORIYOSHI  
MITSUI TOSHISADA  
MATSUDAIRA NOBUNORI

## (54) CONTROLLER AND CONTROL METHOD FOR ELECTRIC VEHICLE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To ensure a good travel control by estimating the magnet temperature of a synchronous machine from an estimated induction voltage and a temperature estimation table thereof and compensating for the output therefrom, depending on the increase of estimated magnet temperature of the synchronous machine.

**SOLUTION:** A motor controller 5 is provided with a magnet temperature estimating means 232 and a magnet temperature compensating means 234. The magnet temperature estimating means 232 estimates the magnet temperature TMG from the relationship between a temperature estimation table 2322 and an induced voltage E010 estimated by an induced voltage estimating means 2321. The induced voltage increases as the magnet temperature increases, and thereby the motor voltage decreases. Consequently, the power factor fluctuates, and the output torque decreases. So, the magnet temperature compensating means 234 estimates the magnet temperature TMG from the estimated induction voltage with reference to the temperature estimation table 2322 and compensates for the d-axis current  $I_d$  and the q-axis current  $I_q$ . In this way, the fluctuations in the output voltage of a synchronous machine due to the fluctuations of the magnet temperature TMG is compensated for through the compensation of current command values  $I_d^*$ ,  $I_q^*$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】磁極位置センサを用いた永久磁石型同期機と、前記同期機を駆動する電力変換器と、前記同期機の d 軸電流指令と q 軸電流指令を発生する電流指令発生手段と、前記 d、q 軸電流指令と前記同期機の電流検出値をもとに d q 軸電圧指令値を生成し、座標変換処理を行って交流電圧指令値を生成する d q 軸電流制御手段と、前記交流電圧指令値から前記電力変換器のパワー素子を駆動する信号を出力する PWM 制御手段とを備えた電気車の制御装置において、

前記同期機の誘起電圧を推定する誘起電圧推定手段と、永久磁石の材料によって決まる前記同期機の誘起電圧と温度の関係を与える温度推定テーブルと、前記同期機の推定誘起電圧と前記温度推定テーブルとから前記同期機の磁石温度を推定する磁石温度推定手段と、推定された前記同期機の磁石温度の上昇に応じて前記同期機の出力を補償する磁石温度補償手段とを設けたことを特徴とする電気車の制御装置。

【請求項 2】前記磁石温度補償手段は、前記磁石温度推定手段の出力値である磁石温度推定値をもとに、前記 d、q 軸電流の電流指令を補正することを特徴とする請求項 1 記載の電気車の制御装置。

【請求項 3】前記誘起電圧推定手段は、前記 q 軸電圧指令値、前記 d 軸電流指令値、前記同期機の回転数、及び前記電力変換器の入力直流電圧を入力として前記同期機の推定誘起電圧を演算し、

前記磁石温度推定手段は、該推定誘起電圧と前記温度推定テーブルから前記磁石温度を推定し、

前記磁石温度補償手段は、該磁石温度推定値と I d 補償テーブル及び I q 補償テーブルをもとに前記 d q 軸電流の電流指令を補償することを特徴とする請求項 2 記載の電気車の制御装置。

【請求項 4】前記誘起電圧推定手段は、前記電力変換器の入力直流電圧に応じて前記 q 軸電圧指令値を補正する機能を有していることを特徴とする請求項 3 記載の電気車の制御装置。

【請求項 5】前記磁石温度補償手段の前記 I d 補償テーブル及び前記 I q 補償テーブルは、前記同期機の出力指令と前記磁石温度推定値を入力として、前記前記 d q 軸電流の電流指令補償値を出力するように構成されていることを特徴とする請求項 3 記載の電気車の制御装置。

【請求項 6】磁極位置センサを用いた永久磁石型同期機と、前記同期機を駆動する電力変換器と、前記同期機の d 軸電流指令と q 軸電流指令を発生する電流指令発生手段と、前記 d、q 軸電流指令と前記同期機の電流検出値をもとに d q 軸電圧指令値を生成し、座標変換処理を行って交流電圧指令値を生成する d q 軸電流制御手段と、前記交流電圧指令値から前記電力変換器のパワー素子を駆動する信号を出力する PWM 制御手段とを備えた電気車の制御装置において、

前記同期機の誘起電圧を推定する誘起電圧推定手段と、永久磁石の材料によって決まる前記同期機の誘起電圧と温度の関係を与える温度推定テーブルと、前記同期機の推定誘起電圧と前記温度推定テーブルとから前記同期機の磁石温度を推定する磁石温度推定手段と、推定された前記同期機の磁石温度に基づいて前記同期機の永久磁石の減磁を検出する異常判定手段とを有することを特徴とする電気車の制御装置。

【請求項 7】磁極位置センサを用いた永久磁石型同期機と、前記同期機を駆動する電力変換器と、前記同期機の d 軸電流指令と q 軸電流指令を発生する電流指令発生手段と、前記 d、q 軸電流指令と前記同期機の電流検出値をもとに d q 軸電圧指令値を生成し、座標変換処理を行って交流電圧指令値を生成する d q 軸電流制御手段と、前記交流電圧指令値から前記電力変換器のパワー素子を駆動する信号を出力する PWM 制御手段とを備えた電気車の制御装置において、前記同期機の誘起電圧を推定する誘起電圧推定手段と、永久磁石の材料によって決まる前記同期機の誘起電圧と温度の関係を与える温度推定テーブルと、前記同期機の推定誘起電圧と前記温度推定テーブルとから前記同期機の磁石温度を推定する磁石温度推定手段と、推定された前記同期機の磁石温度に基づいて前記同期機の永久磁石の減磁を検出する異常判定手段と、前記永久磁石の減磁に応じて前記同期機の出力を補償するために指令値を補正する指令補正手段とを有することを特徴とする電気車の制御装置。

【請求項 8】磁極位置センサを用いた永久磁石型同期機と、前記同期機を駆動する電力変換器と、前記同期機の d 軸電流指令と q 軸電流指令を発生する電流指令発生手段と、前記 d、q 軸電流指令と前記同期機の電流検出値をもとに d q 軸電圧指令値を生成し、座標変換処理を行って交流電圧指令値を生成する d q 軸電流制御手段と、前記交流電圧指令値から前記電力変換器のパワー素子を駆動する信号を出力する PWM 制御手段とを備えた電気車の制御装置において、

前記同期機の誘起電圧を推定する誘起電圧推定手段と、永久磁石の材料によって決まる前記同期機の誘起電圧と温度の関係を与える温度推定テーブルと、前記同期機の推定誘起電圧と前記温度推定テーブルとから前記同期機の磁石温度を推定する磁石温度推定手段と、推定された前記同期機の磁石温度に基づいて前記同期機の永久磁石の減磁を検出する異常判定手段と、前記磁石温度推定値の上昇及び前記永久磁石の減磁に応じて前記同期機の出力を補償する磁石温度補償手段とを有することを特徴とする電気車の制御装置。

【請求項 9】磁極位置センサを用いた永久磁石型同期機と、前記同期機を駆動する電力変換器と、前記同期機の d 軸電流指令と q 軸電流指令を発生する電流指令発生手段と、前記 d、q 軸電流指令と前記同期機の電流検出値をもとに d q 軸電圧指令値を生成し、座標変換処理を行

って交流電圧指令値を生成する d q 軸電流制御手段と、前記交流電圧指令値から前記電力変換器のパワー素子を駆動する信号を出力する PWM 制御手段とを備えた制御装置による電気車の制御方法において、誘起電圧推定手段により前記同期機の誘起電圧を推定し、

磁石温度推定手段により、永久磁石の材料によって決まる前記同期機の誘起電圧と温度の関係を与える温度推定テーブルと前記同期機の推定誘起電圧とから前記同期機の磁石温度を推定し、

磁石温度磁石温度補償手段により、推定された前記磁石温度の上昇に応じて指令補正手段で前記 d q 軸指令値を補償することを特徴とする電気車の制御方法。

【請求項 10】磁極位置センサを用いた永久磁石型同期機と、前記同期機を駆動する電力変換器と、前記同期機の d 軸電流指令と q 軸電流指令を発生する電流指令発生手段と、前記 d、q 軸電流指令と前記同期機の電流検出値をもとに d q 軸電圧指令値を生成し、座標変換処理を行って交流電圧指令値を生成する d q 軸電流制御手段と、前記交流電圧指令値から前記電力変換器のパワー素子を駆動する信号を出力する PWM 制御手段とを備えた電気車の制御方法において、誘起電圧推定手段により前記同期機の誘起電圧を推定し、

磁石温度推定手段により、永久磁石の材料によって決まる前記同期機の誘起電圧と温度の関係を与える温度推定テーブルと、前記同期機の推定誘起電圧ととから前記同期機の磁石温度を推定し、異常判定手段により、推定された前記同期機の磁石温度に基づいて前記同期機の永久磁石の減磁を検出し、指令補正手段により、前記永久磁石の減磁に応じて前記同期機の出力を補償することを特徴とする電気車の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電気車の制御装置および制御方法に係り、特に、車輪駆動源としての永久磁石型同期電動機やバッテリー充電用永久磁石型同期発電機のような磁極位置センサを用いた同期機を備えた電気車の制御装置および制御方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、電気車用の交流電動機を駆動する制御装置は電動機として誘導電動機であれ、永久磁石を用いた同期電動機であれ、電動機の電流をトルク電流  $I_q$  と励磁電流  $I_d$  に分解して制御するベクトル制御が実用化されている。この永久磁石型同期電動機の磁石の温度上昇による出力低下を補償するために特開平 7-212915 では電動機の電圧、電流さらに温度センサをもとに q 軸電流指令  $I_q^*$  のみを補償している。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】永久磁石型同期電動機の磁石の温度変化に伴う出力特性は、磁石材料により異なる。例えば、温度による誘起電圧の低下は、フェライト磁石では  $-0.2\%/^{\circ}\text{C}$ 、ネオジ磁石で  $-0.1\%/^{\circ}\text{C}$  である。このような誘起電圧の低下により電動機の出力あるいはトルクは低下する。

【0004】特に装置を小型、高性能化するために、機器の実装密度を高めた同期電動機や同期発電機では、磁石の温度上昇が顕著となり、同期機の出力あるいはトルクの低下が著しい。

【0005】このような、永久磁石型同期機の磁石温度上昇を検出し、温度上昇に伴う出力低下を補償する手段として、電気車に搭載された同期機のステータのコア温度からロータの磁石温度を間接的に推定し、出力低下を補償することが考えられる。しかし、実験によれば、ステータのコア温度とロータの磁石温度の間には、磁石温度の上昇時あるいは下降時に、 $\pm 30^{\circ}\text{C}$  程度の温度誤差が生じる。そのため、コア温度に基づいて磁石温度を推定し出力低下を補償する方法は、同期機の出力を十分補償し出力精度を確保することができない。

【0006】永久磁石型同期機の温度上昇に伴う出力変動を正確に検知する方法としては、インバータを停止させ、同期機を空転させて誘起される電圧を検出する方法が考えられる。しかし、この方法は実験室で行うことは可能であるが、同期機を実際の電気車に搭載した状態で行うことはできない。

【0007】他方、永久磁石型同期機の出力あるいはトルクの低下要因として、磁石の温度上昇のほかに、永久磁石の減磁も考えられる。

30 【0008】本発明は、永久磁石型同期機を備えた電気車における同期機の磁石温度上昇を的確に推定して出力変動を補償し、良好な走行制御が可能な電気車の制御装置および制御方法を提供することを目的とする。

【0009】本発明の他の目的は、永久磁石型同期機を備えた電気車における同期機の磁石温度上昇及び永久磁石の減磁を的確に推定して、出力補償その他必要な処置を行うことのできる電気車の制御装置を提供することを目的とする。

【0010】

40 【課題を解決するための手段】本発明は、磁極位置センサを用いた永久磁石型同期発電機および電動機の同期機、前記同期機を駆動する電力変換器、同期機の d 軸電流指令と q 軸電流指令を発生する電流指令発生手段、d q 軸電流指令と同期機電流からの d q 軸電流を検出値をもとに d q 軸電圧指令値  $V_d^*$ 、 $V_q^*$ 、座標変換処理を行って交流電圧指令値  $V_u^*$ 、 $V_v^*$ 、 $V_w^*$ 、さらに磁極位置センサと角度センサから座標変換処理で使用する位相演算処理や速度演算を行う d q 軸電流制御手段、前記交流電圧指令値から前記電力変換器のパワー素子を駆動する信号を出力する PWM 手段を備えた電気車

の制御装置において、前記同期機の誘起電圧を推定する誘起電圧推定手段と、永久磁石の材料によって決まる前記同期機の誘起電圧と温度の関係を与える温度推定テーブルと、前記同期機の推定誘起電圧と前記温度推定テーブルとから前記同期機の磁石温度を推定する磁石温度推定手段と、推定された前記同期機の磁石温度の上昇に応じて前記同期機の出力を補償する磁石温度補償手段とを設けたことを特徴とする。

【0011】本発明の他の特徴は、前記誘起電圧推定手段が、 $q$ 軸電圧指令値 $V_q^*$ 、 $d$ 軸電流指令値 $I_d^*$ 、回転数そして電力変換器の入力電圧を入力することにある。

【0012】本発明の他の特徴は、前記磁石温度推定手段の出力値である磁石温度推定値をもとに、 $q$ 軸電流の電流指令 $I_d^*$ 、 $I_q^*$ を補償することにある。

【0013】本発明の他の特徴は、磁極位置センサを用いた永久磁石型同期機と、前記同期機を駆動する電力変換器と、前記同期機の $d$ 軸電流指令と $q$ 軸電流指令を発生する電流指令発生手段と、前記 $d$ 、 $q$ 軸電流指令と前記同期機の電流検出値をもとに $d$ 軸電圧指令値を生成し、座標変換処理を行って交流電圧指令値を生成する $d$ 軸電流制御手段と、前記交流電圧指令値から前記電力変換器のパワー素子を駆動する信号を出力するPWM制御手段とを備えた制御装置による電気車の制御方法において、誘起電圧推定手段により前記同期機の誘起電圧を推定し、磁石温度推定手段により、永久磁石の材料によって決まる前記同期機の誘起電圧と温度の関係を与える温度推定テーブルと前記同期機の推定誘起電圧とから前記同期機の磁石温度を推定し、磁石温度補償手段により、推定された前記磁石温度の上昇に応じて前記同期機の出力を補償することにある。

【0014】本発明によれば、推定誘起電圧と温度推定テーブルから磁石温度を推定するため、永久磁石型同期機を備えた電気車における同期機の磁石温度上昇を的確に推定して出力変動を補償し、良好な走行制御が可能な電気車の制御装置および制御方法を提供することができる。

【0015】また、永久磁石型同期機を備えた電気車における同期機の磁石温度上昇及び永久磁石の減磁を的確に推定して、出力補償その他必要な処置を行うことができる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、図によって本発明の実施例を説明する。まず、図1は、本発明の一実施例になる電気車用駆動制御システムの構成を示すものである。電動機1は永久磁石型同期電動機であり、電力変換器として逆変換器すなわちインバータ2を用いる。永久磁石型同期電動機1には、その回転角度センサであるエンコーダ3及び磁極位置を検出する磁極位置検出器4が直結されている。電動機制御装置5は、エンコーダ3と磁極位置

検出器4の出力及び電流検出器6の出力に基づいてPWM信号を生成し、インバータ2を制御する。

【0017】駆動システム制御部11は、アクセルペダル及びブレーキペダルの操作量に応じた電動機トルク指令 $\tau M^*$ を電動機制御装置5に送り、電動機1がアクセルペダル及びブレーキペダルの操作量に対応したトルクを発生するように制御する。電動機制御装置5は、エンコーダ3と磁極位置検出器4の出力及び電流検出器6の出力に基づいて $d$ 軸電流指令値や交流電圧指令値を生成する $d$ 軸電流制御機能と、交流電圧指令値に基づいてインバータ2を制御するPWM信号を生成するPWM信号生成機能を備えている。インバータ2は、6個のパワー素子（IGBT）と各パワー素子に並列に接続されたダイオードを用いて構成され、電動機1のU、V、W各相の巻線に流れる電流を制御する3相ブリッジ回路と、1個の平滑コンデンサとを備えている。

【0018】永久磁石型同期電動機1の電源は、バッテリー7もしくはガソリンエンジン8で駆動される永久磁石型同期発電機9からコンバータ10を介して供給される。また、永久磁石型同期発電機9によりバッテリー7を充電する。

【0019】図2に、永久磁石型同期電動機1の制御を行う電動機制御装置5の詳細機能ブロック図を示す。電動機制御装置5は、3/2相変換手段202、 $I_d I_q$ 電流制御手段204、2/3相変換手段206、PWM制御手段208及び位相演算手段210、速度演算手段212を備えている。速度演算手段212の入力側は、エンコーダ3に接続され、位相演算手段210の入力側はエンコーダ3及び磁極位置検出手段4に接続されている。電動機制御装置5はさらに、 $I_q$ 制御手段224及び $I_d$ 制御手段226を含む電流指令発生手段220を備えている。

【0020】電動機制御装置5はまた、永久磁石型同期電動機1の磁石温度を推定する磁石温度推定手段232、磁石温度の上昇に伴い電動機出力を補償する磁石温度補償手段234、磁石の減磁を検出する磁石異常検出手段242、磁石の減磁量に応じた出力補正をする指令補正手段244を含む磁石温度補償手段230を備えている。磁石温度推定手段232は、 $q$ 軸電圧指令値 $V_q^*$ 、 $d$ 軸電流指令値 $I_d^*$ 、同期機の回転数 $\omega$ 、及び電力変換器2の直流電圧 $V_B$ を入力として同期機の推定誘起電圧を演算する誘起電圧推定手段2321と、この推定誘起電圧から磁石温度 $T_{MG}$ を推定するための温度推定テーブル2322を備えている。

【0021】永久磁石型同期発電機9も、永久磁石型同期電動機1の電動機制御装置5と同様な、磁石温度推定手段、磁石温度補償手段、磁石異常検出手段及び指令補正手段を含む磁石温度補償手段を含む制御装置（図示せず）を備えている。以下、電動機制御装置5について説明し、永久磁石型同期発電機9の制御装置の説明は省略

する。

【0022】電動機制御装置5において、トルク分電流に相当するq軸電流の指令値 $I_q^*$ は、トルク指令値 $\tau M^*$ と回転数をもとに $I_q$ 制御手段224で算出する。一方、d軸電流の指令値 $I_d^*$ も、トルク指令値 $\tau M^*$ と回転数をもとに、 $I_d$ 制御手段226で算出する。このようにして、電動機制御装置における $I_d$ 、 $I_q$ テーブル224、226は、トルク指令値 $\tau M^*$ と回転数をもとに高効率制御に要求される電流指令値 $I_q^*$ 、 $I_d^*$ を算出する。

【0023】3/2相座標変換手段202は、電流検出器6で検出した電動機電流の3相交流電流を3/2相の座標変換処理を行いd、q軸電流 $I_d$ 、 $I_q$ を算出する。これらの検出値 $I_d$ 、 $I_q$ と指令値 $I_d^*$ 、 $I_q^*$ をもとに、 $I_d I_q$ 電流制御手段204は、比例あるいは比例積分電流制御処理を行い、電圧指令値 $V_d^*$ 、 $V_q^*$ を算出する。

【0024】さらに、2/3相変換手段206において、2/3相の座標変換を行い3相交流電圧指令値 $V_U^*$ 、 $V_V^*$ 、 $V_W^*$ を算出する。PWM制御手段208はこの電圧指令値 $V_U^*$ 、 $V_V^*$ 、 $V_W^*$ から三角波信号の搬送波信号との比較処理を行って、PWM信号を発生し、インバータ2を駆動する。このようにして電動機1にPWM制御された電圧を印加することにより、電動機電流が電流指令値 $I_q^*$ 、 $I_d^*$ に一致するように制

$$\tau M = P_n [ \{ E_0 + (1 - \rho) L_d I_d \} I_q ] \quad \dots (1)$$

ただし、 $P_n$ は定数、 $\rho$ は $L_q$ と $L_d$ の比、 $E_0$ は誘起電圧である。

【0029】(1)式において、右辺第1項は同期トルク、第2項はリアクタンストルクと呼ばれている。

【0030】電動機への印加電圧一定とし、進み角 $\beta$ を変換としたトルク特性は、図5に示すようになる。同期トルク及びリアクタンストルクの和が発生トルク $\tau M$ である。このように(1)式の $\rho$ が1よりも大きい逆突極特性をもつ同期電動機は進み角 $\beta$ が45度付近で最大ト

$$V_d = X_q \cdot I_q - r_l \cdot I_d$$

$$V_q = E_0 + X_d \cdot I_d + r_l \cdot I_q$$

ここで、 $r_l$ を無視すると、

$$V_d = X_q \cdot I_q, \quad V_q = E_0 + X_d \cdot I_d \quad \dots (2)$$

故に、 $E_0 = V_q - X_d \cdot I_d$ となる。

【0033】ここで、 $V_q$ は、電動機制御装置5内の電圧指令値 $V_q^*$ 、 $X_d$ は1/3000minで規格化した固定値を用いる。 $I_d$ は指令値 $I_d^*$ を用いる。

【0034】誘起電圧 $E_0$ は、同期機の回転数に比例し★

$$E_{010} = E_0 \times (\omega_{3000} / \omega_r) \quad \dots (3)$$

故に、

$$E_{010} = (\omega_{3000} / \omega_r) \times \{ (V_{B0} / V_B) \times V_q^* - X_d \cdot I_d^* \} \\ = k_1 \cdot V_q^* - k_2 \cdot X_d \cdot I_d^* \quad \dots (4)$$

(5)式において、電圧指令値 $V_q^*$ を直流電圧 $V_B$ で補正している。 $V_{B0}$ は設計値、 $V_B$ は実測値である。電

\*御する。

【0025】なお、2/3相変換処理206、3相/2相座標変換手段202の座標変換処理で使用する位相角 $\theta_1$ は、位相演算手段210において、電動機1の誘起電圧と同位相の信号を出力する磁極位置検出器4、回転角度信号(パルス信号)を出力するエンコーダ3の各出力から算出する。

【0026】この磁極位置検出器4の出力信号と電動機電流 $I_1$ 、誘起電圧 $E_0$ に対する、電動機制御装置5内部の位相角 $\theta_1$ の位相関係を図3に示す。位相信号は、エンコーダ3のパルス信号を累積する位相演算手段210で演算され、鋸波状信号となる。磁極位置検出器4の出力信号である磁極位置信号は、電動機1の誘起電圧 $E_0$ と同期させる。このような処理を行うことによって、電動機制御装置5は、トルク指令値 $\tau M^*$ のトルクでかつ損失を最小とする、高効率制御を行う。

【0027】そのときの電動機1のベクトル図を図4に示す。高効率点を得るための $I_q^*$ 、 $I_d^*$ により、最適な進み角 $\beta$  ( $\beta = \tan^{-1} (I_d^* / I_q^*)$ )で制御される。なお、進み角 $\beta$ の基準点は図3示す $t_0$ 時点であり、この $t_0$ 時点で制御されている電流 $I_1$ を破線で示す。

【0028】電動機1の出力トルクは(1)式で示される。

※ルクを発生するので、この角度以上で制御される。このような動作で電気自動車は駆動される。

【0031】次に、電動機の温度補償制御の動作を図6以下で説明する。まず、図6に、永久磁石型同期電動機の磁石温度 $T_{MG}$ に対する誘起電圧 $E_0$ と出力トルク特性の関係を示す。磁石温度 $T_{MG}$ の上昇に伴い、誘起電圧及び出力トルクは低下することがわかる。

【0032】同期機の電圧、電流の基本式は次式に示す通りである。

★で増加する。そこで、誘起電圧 $E_0$ を、特定の回転数 $\omega$ で規格化する。例えば、1/3000minで規格化された誘起電圧 $E_{010}$ は、次のようになる。

【0035】

電動機制御装置5内での電圧指令値 $V_q^*$ は、実質PWM信号を発生するための信号であることから、 $V_B$ の大き

さにより補正することにより、図4のようなベクトル図に示す $Vq^*$ として示すことができる。また、(5)式において、 $k_1$ 、 $k_2$ の係数を回転数 $\omega_r$ により可変してE010を演算する。

【0036】磁石温度推定手段232は、誘起電圧推定手段2321で求めた推定誘起電圧E010と温度推定テーブル2322の関係から磁石温度TMGを推定する。

【0037】また、図7の(a)に磁石温度が低温時の電動機制御動作ベクトル図、(b)に磁石温度が高温時の電動機制御動作ベクトル図を示す。これらのベクトル図において、 $X_d$ 、 $X_q$ はd-q軸インピーダンスで、 $X_d = \omega_f L_d$ 、 $X_q = \omega_f L_q$ で示され、図8に示すように、 $L_d$ は $L_q$ のいかに係らず一定となり、 $L_q$ は $I_q$ に応じて減少する。

【0038】図7において、磁石温度上昇によりE00>E01のように誘起電圧Eが減少する。それに伴って、電動機電圧が減少する( $V10 > V11$ )。その結果、力率変動し、出力トルクが減少する。そこで、(5)の演算式にもとづく推定誘起電圧E010から温度推定テーブルを参照して磁石温度TMGを推定して、 $I_d$ 、 $I_q$ の補償を行う。

【0039】このように、本発明は、磁石温度TMGの変化に伴う同期機の出力変動を、電流指令値 $I_d^*$ 、 $I_q^*$ の補償により補償することを特徴としている。

【0040】すなわち、磁石温度補償手段234は、図9の詳細ブロック図に示すように、 $I_d$ 補償テーブル2341、 $I_q$ 補償テーブル2342を備えている。これら $I_d$ 補償テーブル2341、 $I_q$ 補償テーブル2342は、同期機の出力指令 $\tau M0$ と磁石温度TMGをもとに、d-q軸電流の電流指令 $I_d^*$ 、 $I_q^*$ を補償する補償係数 $K_d$ 、 $K_q$ を出力する。

【0041】図10、11は、磁石温度補償制御手段の $I_d$ 、 $I_q$ テーブルのデータの一例を示す。図10の $I_d$ テーブルは、磁石温度推定値TMGとトルク指令値相当値 $\tau M0$ を入力することにより、電流指令値 $I_d^*$ の補償係数 $K_d$ が得られる。図11の $I_q$ テーブルは、磁石温度推定値TMGとトルク指令値相当値 $\tau M0$ を入力することにより、電流指令値 $I_q^*$ の補償係数 $K_q$ が得られる。

【0042】図12に、磁石温度推定手段232により、温度推定テーブル2322を用いた磁石温度の推定手順を示す。

【0043】まず、電動機の始動直後、コア温度TM2と推定磁石温度TMG0を等しい(図12の(1))として、温度推定テーブル2322を参照して得たE020(図12の(2))と(5)式で算出したE010を比較して、 $E020 = E010$ となるように予め、係数 $k_1$ 、 $k_2$ をマッチングして置く。そうすることにより動作中に(5)式で算出したE010から磁石温度TMG1を推定する。(図12の(4))このようにして推定された、磁石温度TMG10は、実際の

同期機の磁石温度に非常に近いものとなる。したがって、本発明の方法によれば、図13に示すように、実際の磁石温度の変化に追従した的確な温度補償が行え、コア温度からの推定方式に比べて、出力トルクの制御精度が向上する。

【0044】本発明の他の実施例になる磁石温度推定手段として、図14に示すように(5)式で算出したE010と磁石温度100℃の誘起電圧E0100との比(図14の(1))から、温度推定テーブルを用いて磁石温度TMG0を推定してもよい。

【0045】図12、14で推定磁石温度が磁石の許容減磁温度TMGMAXに達した場合は、異常判定手段242はシステム停止等の異常処理を行う。もし、許容減磁温度TMGMAXを多少越え、システム停止後誘起電圧を測定した結果、減磁の程度が小さく運転が可能な場合には、磁石温度推定手段232は新たに温度推定テーブル2322の特性(一点鎖線)で推定した磁石温度を推定する。多少減磁したことにより出力が減少するので、出来る限りトルク指令 $\tau M^*$ を指令補正手段244で増やし、さらに磁石温度補償手段234で温度補償を行い、異常判定手段242で磁石温度を監視しながら運転を続ける。

【0046】

【発明の効果】本発明によれば、推定誘起電圧と温度推定テーブルから磁石温度を推定するため、永久磁石型同期機を備えた電気車における同期機の磁石温度上昇を的確に推定して出力変動を補償し、良好な走行制御が可能な電気車の制御装置を提供することができる。

【0047】本発明によればまた、永久磁石型同期機を備えた電気車における同期機の磁石温度上昇及び永久磁石の減磁を的確に推定して、出力補償その他必要な処置を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例になる発電システムを備えた電気車の駆動システム構成図。

【図2】図1の電動機制御装置の詳細機能ブロック図。

【図3】電動機制御装置内部の位相角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ の位相関係を示す図。

【図4】同期電動機の制御動作時のベクトル図。

【図5】電動機への印加電圧一定とし、進み角 $\beta$ を可変としたトルク特性図。

【図6】磁石温度に対する誘起電圧E0と出力トルク特性の関係を示す図。

【図7】磁石温度の変化に対する電動機制御動作ベクトル図の関係を示す図。

【図8】 $I_d$ 、 $I_q$ と $L_d$ 、 $L_q$ の関係を示す図。

【図9】図2に示す磁石温度補償制御手段の詳細制御ブロック図を示す。

【図10】磁石温度補償制御手段の $I_d$ テーブルのデータを示す図。

【図11】磁石温度補償制御手段の  $I_q$  テーブルのデータを示す図。

【図12】温度推定テーブルを用いた磁石温度推定手段による温度の推定手順を示す。

【図13】本発明の効果を示す図。

【図14】本発明の他の実施例の動作説明図。

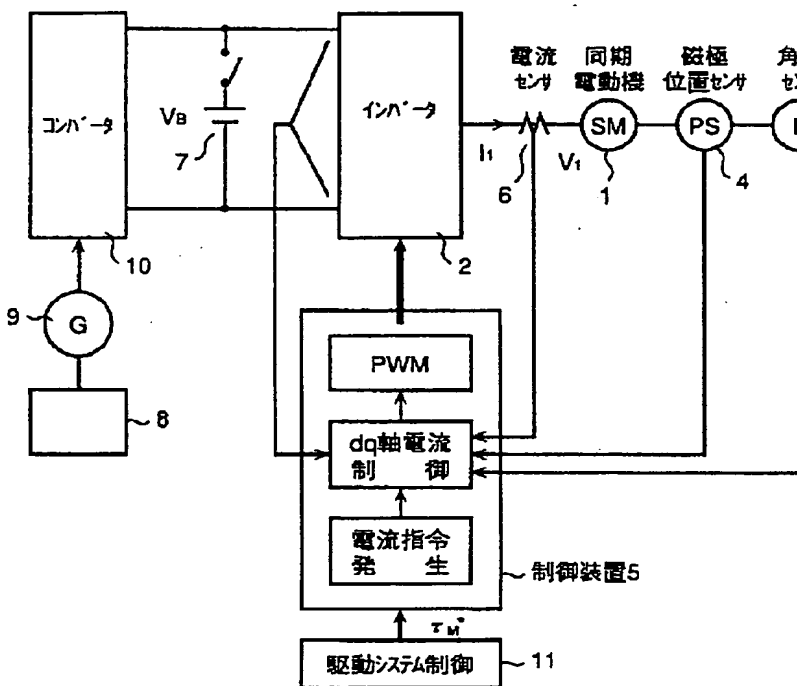
【図15】磁石温度と許容減磁特性及び許容減磁温度との関係を示す図である。

【符号の説明】

5…電動機制御装置、202…3/2相変換手段、204… $I_d I_q$ 電流制御手段、206…2/3相変換手段、208…PWM制御手段、210…位相演算手段、212…速度演算手段、224… $I_q$ 制御手段、226… $I_d$ 制御手段、220…電流指令発生手段、232…磁石温度推定手段、234…磁石温度補償手段、242…磁石異常検出手段、244…指令補正手段

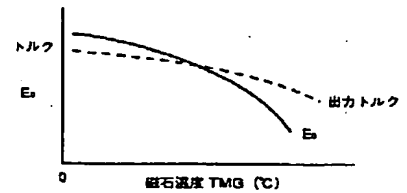
【図1】

図 1



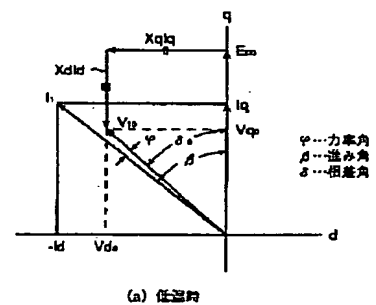
【図6】

図 6

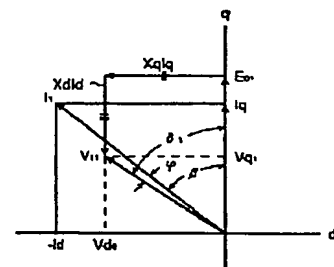


【図7】

図 7



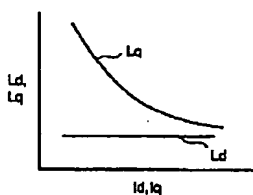
(a) 低速時



(b) 高速時

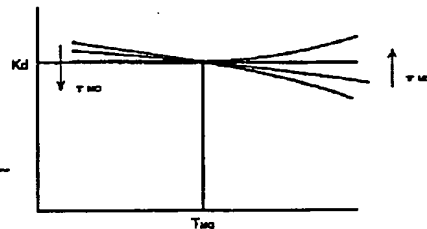
【図8】

図 8



【図10】

図 10



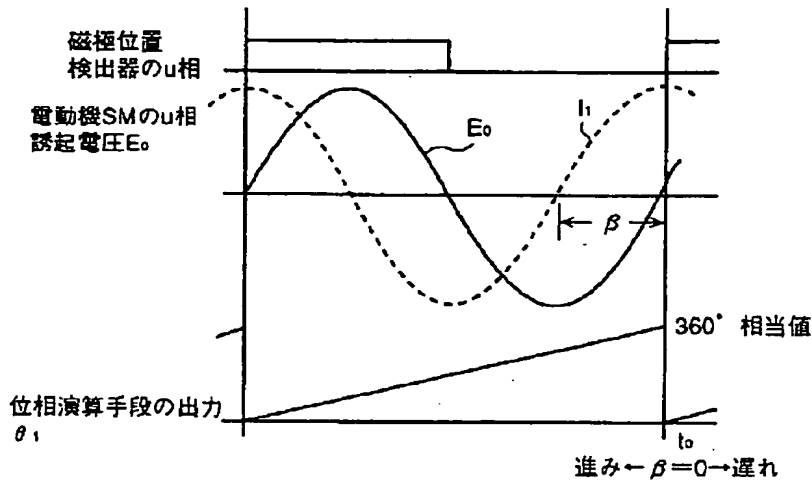


**図 2**



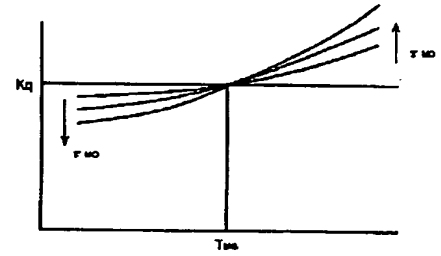
【図3】

図 3



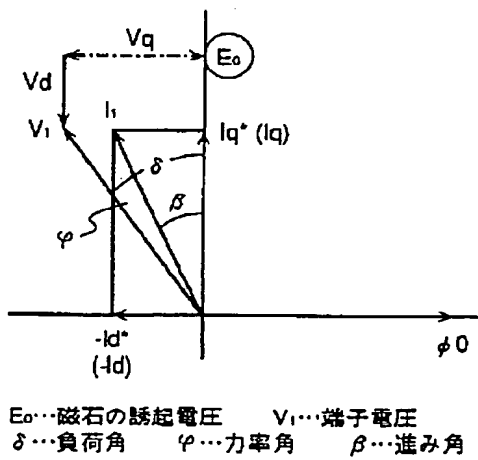
【図11】

図 11



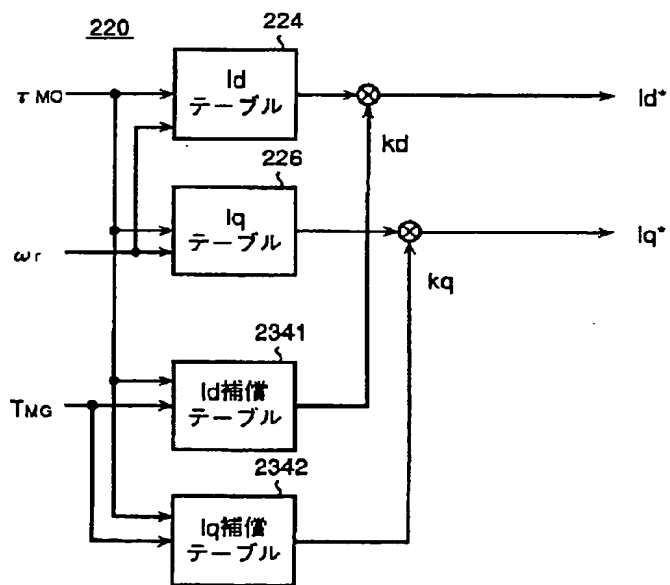
【図4】

図 4



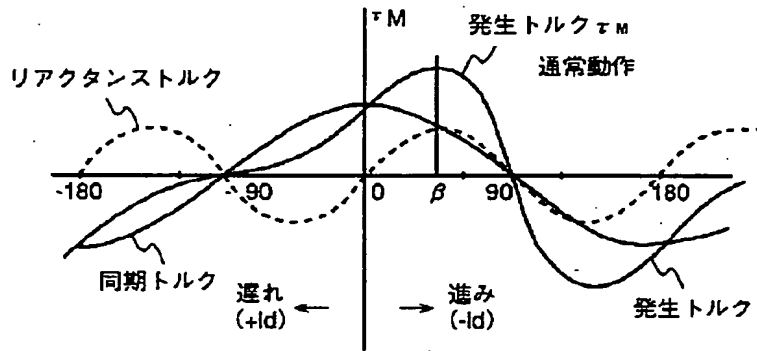
【図9】

図 9



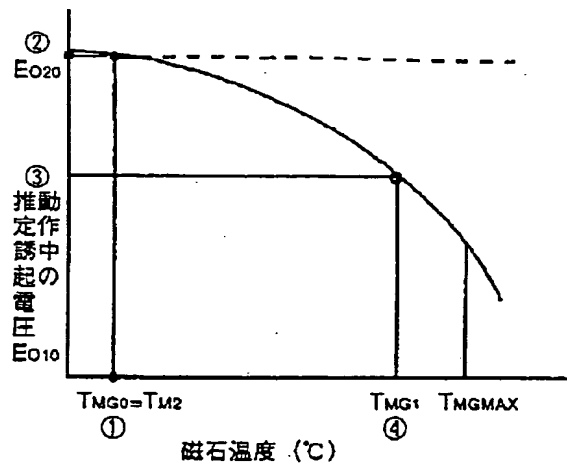
【図5】

図 5



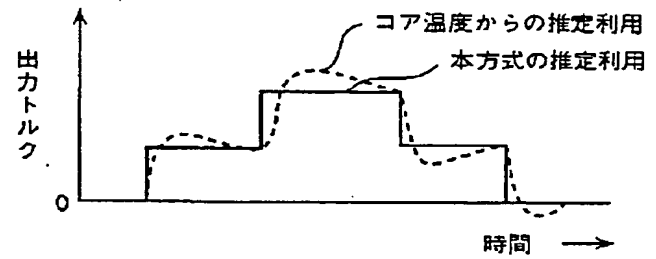
【図12】

図 12



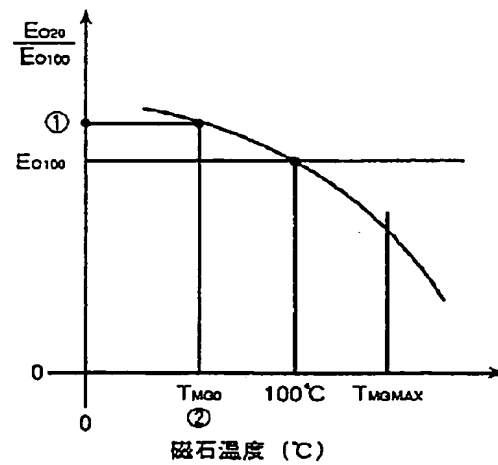
【図13】

図 13



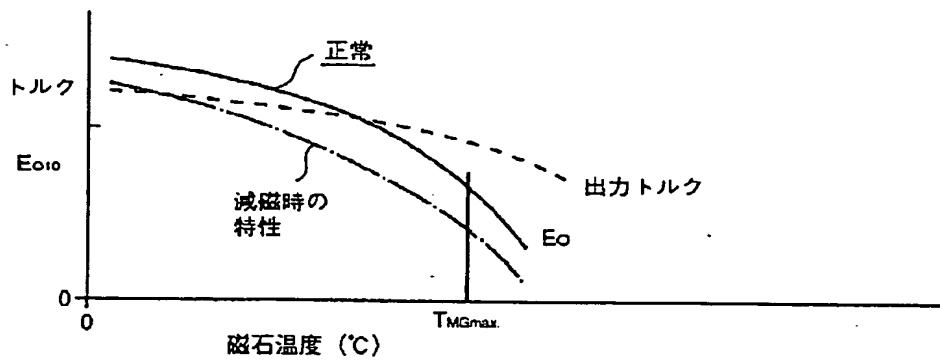
【図14】

図 14



【図15】

図 15



フロントページの続き

(72)発明者 松平 信紀  
茨城県ひたちなか市大字高場2520番地 株  
式会社日立製作所自動車機器事業部内